

国際原子力人材育成イニシアティブ事業成果報告書（フォーマット）

＜課題名＞

復興対策特別人材育成事業「原子炉安全性向上に資する実践的教育システムの構築—シミュレーション技術を活用した横断型新世代原子力人材の育成—」

＜実施機関＞

東北大学大学院工学研究科

＜連携機関＞

長岡技術科学大学大学院技術経営研究科システム安全系、八戸工業大学機械情報技術学科

＜実施期間・交付額＞

25年度14,473千円、26年度11,271千円、27年度9,523千円

＜当初計画＞

1. 目的・背景

国立大学法人東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻及び同工学部機械知能・航空工学科量子サイエンスコースにおいて、原子力の安全や危機管理という視点から教育カリキュラムを高度化することを目的とする。既存教育カリキュラムにおける主要教育課題である、原子力工学を理解するための各種物理学及び保全、バックエンド、生活環境復旧、に加えて、本事業を通じて安全工学及び土木工学分野との連携により、原子力の安全性にかかわる教育基盤を充実させることで、原子力安全等の福島第一原子力発電所事故後の原子力分野における重要課題に対する十分な基礎的素養と柔軟性を備えた、将来の原子力分野における設計・建設、保守・運転、そして研究・開発の中核となりうる人材が専攻から継続的に輩出されるような、自立的かつ将来的には他機関とも持続的な共有が可能である教育カリキュラムを構築することを目指す。

2. 実施計画

事業採択通知時の平成25から27年度にかけての実施項目を以下にまとめる。尚、以降において「専攻」とは東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻及び東北大学工学部機械知能・航空工学科量子サイエンスコースを指すものである。

(1) シミュレーターを用いたプラントシステムとシビアアクシデント対応の理解

プラントシステムと安全性、シビアアクシデント対応、そしてシステムとしての原子炉を学ぶことによる基幹物理学理解の促進のため、下記を実施する。

(1)-1 シミュレーターの導入（平成25年度）

専攻内で利用可能であるPCベースのプラントシミュレーターPCTAN/BWR5及び熱水力解析コードRETRANを導入する。

(1)-2 専攻内教員の教育（平成25～27年度）

(1)-1で導入したプラントシミュレーター及び熱水力解析コードを教育において活用するため、専攻内教員が使用法に習熟した内部の理解を深めることを目的として、専攻に外部講師を招聘しての講習会を開催すると共に、関連する外部セミナー（含 Idaho Fallsにおける一週間トレーニングコース）等の会合に専攻内教員を派遣する。また、専攻内教員の自主研鑽に用いるための例題及びその解説書の作成を外部に依頼する。

(1)-3 安全性・リスクに関する多角的視野からの教育（平成25～27年度）

広く安全性とリスクに関する研究活動を行っている長岡技術科学大学システム安全専攻と連携し、東北大学量子エネルギー工学専攻大学院生に対して、大規模構造物における安全性とリスクに関する講義を行う。

(1)-4 関連講義におけるシミュレーターの活用（平成26～27年度）

プラントシステム及びシビアアクシデントを学習するための効率的なプラントシミュレーター及び安全解析コードの具体的な活用法を検討し、関連する講義に反映することで、原子力プラントの安全という観点から専攻内教育カリキュラムの高度化を図る。

(2) 原子力・土木共通分野の教育基盤整備と相互理解の促進

原子力安全性議論のための分野をまたがった基礎的素養を身につけるための、原子力・土木共通分野の教育基盤を構築することを目的に、下記を実施する。

(2)-1 専攻横断教育体制の構築（平成 25, 26 年度）

東北大学量子エネルギー工学専攻と東北大学土木工学専攻との教育カリキュラムを両専攻教員が精査し、原子力・土木共通分野理解のための両専攻学生が履修すべき講義（含学部講義）について、必要に応じて講義内容の見直しの上、検討し、単位化を行う。

(2)-2 土木工学実験の実施（平成 25～27 年度）

東北大学量子エネルギー工学専攻学生に対する土木工学基礎実験、及び東北大学土木工学専攻学生に対する放射線遮蔽実験を(2)-1 の検討に基づく学生の基礎的素養を踏まえて検討し、継続的に実施する。

(2)-3 原子力・土木基盤理解のためのシミュレーターの活用（平成 27 年度）

原子力・土木共通基盤理解のため、(3)-1 において導入するシミュレーターを活用した講義資料の作成又は実習課題策定について検討を行い、関連する専攻内講義もしくは実習にて活用する。

(3) シミュレーション技術の根本的理解とそれを通じた高度な実現象分析能力の獲得

実現象の評価・分析にはシミュレーションが不可欠であるが、技術の高度化・複雑化と共に各種ソフトウェアがブラックボックス化し、ユーザーが解析結果を鵜呑みにする傾向があることを踏まえ、物理現象を踏まえた解析結果の本質的な分析能力を身につけさせることを目的とした、下記を実施する。

(3)-1 シミュレーターの導入と環境整備（平成 25, 26 年度）

講義及び実習に使用可能な汎用有限要素法解析ソフトウェアを導入すると共に、当該ソフトウェアが専攻内の講義（実習）室及び関連する複数の研究室において使用することが可能となるように、ネットワーク環境を整備する。

(3)-2 専攻内教員の教育と講習会の開催（平成 25～27 年度）

(3)-1 において導入したソフトウェアを専攻内教員が十分に理解しまた使用法に習熟するため、ソフトウェア販売元が開催しているセミナー等に専攻内担当教員を派遣すると共に、具体的な講義もしくは実習課題策定に資する議論のため、当該ソフトウェアの製作もしくは販売元から講師を招聘しての講習会等を開催する。

(3)-3 関連講義におけるシミュレーターの活用（平成 26, 27 年度）

(3)-1 において導入したソフトウェアを関連する専攻内講義もしくは実習において活用する。

(4) 環境整備・共通項目等

事業終了後も継続可能な体制構築のための環境整備、専攻より輩出される学生の国際性向上、そして事業の効率化のため、下記を実施する。

(4)-1 拠点間遠隔講義システムの導入（平成 25, 26 年度）

拠点間の効率的な連携のため、八戸工業大学、長岡技術科学大学、そして東北大学土木工学専攻に遠隔講義システムを導入する。

(4)-2 シミュレーションルームの設置（平成 27 年度）

本事業において導入した各種シミュレーターを自発的学習及び自身の研究に用いることが出来るよう、共通実験室的な位置づけの小規模なシミュレーションルームを専攻内に設置する。

(4)-3 英文教材の整備（平成 27 年度）

輩出される学生の国際性向上のための教育インフラ整備として、関連する教材の英語化を行う。

(4)-4 海外インターンシップ助成（平成 26, 27 年度）

継続的な教育を可能とする人的インフラ整備を目的とし、学生もしくは若手教員を海外の関連する研究機関、企業等に派遣するための海外インターンシップ助成を行う。（平成 26, 27 年度）

(4)-5 外部評価委員会（平成 25～27 年度）

事業進捗状況及び計画を客観的に評価・分析いただき、もってより効果的な原子力人材育成を可能ならしめるための評価委員会を組織し、概ね半年に 1 回の頻度で開催する。

<実施状況>

(1) シミュレーターを用いたプラントシステムとシビアアクシデント対応の理解

(1)-1 シミュレーターの導入

PC ベースのプラントシミュレーター PCTRAN/BWR5 及び熱水力解析コード RETRAN を導入し、利用環

境を整備すると共に実習で用いる際に必要となる取扱説明書、計算機等を整備した。

(1)-2 専攻内教員の教育

(1)-1 において導入した PCTRAN 及び RETRAN を各種専攻内教育において活用するために、専攻内教員が使用法に習熟し理解を深めることを目的とした講習会を開催した。PCTRAN に関しては平成 26 年 3 月 24—25 日にソフトウェア開発者を招へいしての講習会、平成 26 年 9 月 19 日に国内販売代理店を招へいしての講習会を開催した。RETRAN に関しては、平成 26 年 2 月 5—7 日に国内販売代理店を招へいしての講習会を開催した。その後、専攻教員における RETRAN の使用感を踏まえ、RETRAN の操作性を向上させ、もって本質的な学習を効果的に行うことを可能とするため、RETRAN User Interface を導入し、燃料棒冷却等の原子炉プラントの部分的なモデル、BWR 簡易モデル、炉心反応度投入事象モデル、及び関連ドキュメントの作成を RETRAN 国内販売代理店に依頼するとともに、当該モデルを用いた講習会を平成 27 年 3 月 5、6 日及び平成 27 年 10 月 1、2 日に実施した。尚、RETRAN のモデル及び関連ドキュメント作成、そしてそれらを用いた講習会は、審査委員会及び外部評価委員会コメントを受けて当初検討していた Idaho Falls における一週間トレーニングコースへの教員の派遣を再検討した結果に基づくものである。

(1)-3 安全性・リスクに関する多角的視野からの教育

(4)-1 において導入した遠隔講義システムを用い、長岡技術科学大学システム安全専攻による、大規模構造物に関する災害シミュレーションを通じた安全性に関する遠隔講義を東北大学量子エネルギー工学専攻大学院生及び八戸工業大学大学院機械・生物化学工学専攻学生に対して行った（講義実施日：平成 25 年 12 月 12 日（東北大学量子エネルギー工学専攻のみ）、平成 26 年 12 月 10 日、平成 27 年 12 月 10 日）。

(1)-4 関連講義におけるシミュレーターの活用（平成 26～27 年度）

(1)-1 において導入したソフトウェアを用いた講義及び実習の具体的内容について検討の上、以下のように実施した。

- 東北大学工学部第 4 セメスター講義「機械知能・航空研修 I」において、PCTRAN を用いた BWR の基本的構造及びシビアアクシデント時の対応の概要を理解するための実習を行った。
- 東北大学工学部量子サイエンスコース 3 年生学外研修の事前講義において PCTRAN を用いた BWR の説明を行った。
- 東北大学工学部第 7 セメスター講義「量子機械学」において RETRAN を用いた配管内流れ及び燃料棒の冷却に関する実習を実施した。
- 東北大学大学院工学研究科博士前期課程科目「核エネルギーシステム安全工学」「リスク評価・管理学論」において PCTRAN を用いた原子力プラントシステムと安全系の動作理解のための講義と実習を行った。
- 東北大学大学院工学研究科博士前期課程科目「実験原子力システム工学」において、PCTRAN を用いた反応度投入による原子炉応答のシミュレーションおよび異常事象時の原子炉応答および操作のシミュレーション実習を行った。
- 東北大学大学院工学研究科博士前期課程科目「実験原子力システム工学」において、RETRAN を用いた配管内流れ、炉心内流れ、燃料棒の冷却、BWR 簡易モデル計算に関する実習を実施した。
- 東北大学大学院工学研究科博士前期課程科目「先進原子力総合実習」において、軽水炉における熱工学及びそれらの具体的な解析方法としての RETRAN の物理モデルについての講義を行った。

(2) 原子力・土木共通分野の教育基盤整備と相互理解の促進

(2)-1 専攻横断教育体制の構築

東北大学工学部建築・社会環境工学科第 5 セメスター講義「コンクリート工学」及び同 6 セメスター講義「耐震工学」を東北大学量子エネルギー工学専攻の専門科目として設定し、(4)-1 において導入した遠隔講義システムを通じた遠隔講義を実施した。

(2)-2 土木工学実験の実施

量子エネルギー工学専攻学生に対する土木工学基礎実験、より具体的にはコンクリートの製造、圧縮載荷試験、振動台及び簡易振動試験装置を導入しての地震応答解析に関する実習を行った（実施日は平成 25 年 10 月 31 日、平成 26 年 10 月 2 日、平成 27 年 11 月 18 日。ただし実施内容は前年度内容を受けて毎年改定）。また、土木工学専攻学生に対する、コンクリートによる中性子遮蔽効果評価実習を策定した。

(2)-3 原子力・土木基盤理解のためのシミュレーターの活用

(3)-1 において導入したシミュレーターを用いた土木工学に関するシミュレーション実習課題（コンクリート梁の強度及び振動解析、地下処分施設と地下水の熱移動解析）を策定し、大学院講義「先進原子力総合実習」の実習課題として実施した。

(3) シミュレーション技術の根本的理解とそれを通じた高度な実現象分析能力の獲得

(3)-1 シミュレーターの導入と環境整備

汎用有限要素法解析ソフトウェア Comsol Multiphysics 及び今後専攻内教育にて当該ソフトウェアを活用する際に必要となる追加モジュール（構造力学、AC/DC、伝熱、地下水流、音響、非線形、ジオメカニクス、粒子トレーシング、腐食）を導入し、当該ソフトウェアを専攻内で用いるための計算機及びネットワーク環境を整備した。

(3)-2 専攻内教員の教育と講習会の開催

(3)-1 において導入したシミュレーターを専攻内教員が十分に理解し、また使用法に習熟するため、教員の自己研鑽に加えて、担当教員を国内販売代理店が開催しているセミナーへ派遣した（平成25年10月25日、平成25年11月21日、平成26年4月11日、平成26年4月17日、平成26年4月18日、平成26年5月13日、平成26年5月16日、平成26年6月13日、平成26年6月17日、平成26年7月14日）。また、国内販売代理店よりエンジニアを招聘しての講習会（終日）を以下のように開催した。

- 平成25年12月20日：Comsol Multiphysics 一般に関する講習会
- 平成26年 2月18日：構造力学及び非線形モジュールに関する講習会
- 平成26年10月 6日：伝熱及び非線形構造解析に関する講習会
- 平成26年10月24日：伝熱及び流動解析に関する講習会
- 平成27年 3月23日：腐食現象技術に関する講習会
- 平成27年 3月26日：地下処分施設と地下水間の熱移動解析に関する講習会
- 平成27年 7月13日：構造物の振動解析に関する講習会
- 平成28年 1月27日：すき間腐食解析に関する講習会
- 平成28年 1月29日：接触解析に関する講習会

得られた知見に基づいて、講義及び実習における具体的な Comsol Multiphysics の活用について検討を行った。尚、当初は米国で開催される Comsol Conference に教員を派遣することを予定していたが、費用対効果が良いとは言えず、また事業目的達成のために必ずしも必要不可欠とは言えないとの外部評価委員会コメントを受け、当該会合への教員の派遣は中止した。

(3)-3 関連講義におけるシミュレーターの活用

(3)-1 において導入したソフトウェアを用いた講義及び実習を以下のように実施した。

- 東北大学工学部第7セメスター科目「原子炉安全・設計学」において、伝熱学理解のため、内部温度分布及び各種条件が核燃料温度表面分布に与える影響についての解析結果を用いての講義を行った。実施後、本内容は下記の量子機械学の講義内で用いることがより適切との判断されたため、平成27年度は原子炉安全・設計学におけるシミュレーターの活用は行っていない。（平成26年度）
- 東北大学工学部第7セメスター講義「量子機械学」において、伝熱学理解のための燃料棒の冷却、配管内流れ、構造解析、熱応力解析を行った。尚、本内容は平成26年度原子炉安全・設計学における実施内容をより充実させたものである。（平成27年度）
- 東北大学大学院工学研究科博士前期課程科目「保全工学」において、非破壊検査技術（超音波探傷法及び渦電流探傷法）及び腐食現象理解のためのシミュレーション実習を行った。（平成26,27年度）
- 東北大学大学院工学研究科博士前期課程科目「先進原子力総合実習」において、有限要素法による構造解析一般及び金属及び土木構造解析理解のためのデモンストレーション及びシミュレーション実習を行った。（平成26,27年度）

(4) 環境整備・共通項目等

(4)-1 拠点間遠隔講義システムの導入

拠点間の効率的な連携のため、八戸工業大学、長岡技術科学大学、そして東北大学土木工学専攻に遠隔講義システム及び効率的な遠隔講義の実施のために関連して必要となる音響機器などを導入した。また、導入した遠隔システムを用い、(1)-3、(2)-2 に加えて、八戸工業大学大学院講義「放射線工学特論」の一部を東北大学大学院量子エネルギー工学専攻教員が担当して実施し

た。

(4)-2 シミュレーションルームの設置

当初共通実験室的な位置づけの小規模なシミュレーションルームを専攻内に設置することを予定していたが、審査委員会コメントを受けて再検討を行った結果、据え付け型の計算機があるシミュレーションルームを設置するよりも、可搬型の計算機を手配したほうが、より効率的であるとの結論に至ったため、シミュレーションルームの設置は中止した。

(4)-3 英文教材の整備

英語化すべき教材についての検討の結果に基づいて、東北大学工学部機械知能・航空工学科量子サイエンスコース学生全員が履修する、第6セメスター「機械知能・航空工学実験 II」のテキスト、及び第7セメスター「バックエンド基礎実験」のテキストを英語化し、英語化された教材を試験的に用いての実験を実施した。

(4)-4 海外インターンシップ助成

当初学生もしくは若手教員を海外の関連する研究機関、企業等に派遣するための海外インターンシップ助成を行うことを予定していたが、費用対効果が良いとは言えず、また事業目的達成のために必ずしも必要不可欠とは言えないとの審査委員会コメント及び(4)-5における外部評価委員会コメントを受け、海外インターンシップ助成は中止した。

(4)-5 外部評価委員会（平成25～27年度）

6名の外部委員（大学名誉教授、電力、再処理施設、メーカー、原子力研究機関、プラント運転訓練センター）から成る外部評価委員会を組織し、事業進捗状況及び計画に対して共に第三者視点から意見をいただくことでより事業を効率的・効果的に進めるための外部評価委員会を、平成25年11月20日、平成26年3月11日、平成26年9月18日、平成27年3月17日、平成27年10月26日、平成28年3月11日の計6回開催した。

表1. 育成対象及び人数（結果）

実施項目	実施プログラム	育成対象者	育成人数		
			25年度	26年度	27年度
(1)-2 専攻内教員の教育	PCTRAN 講習会	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教員	3	3	0
		東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	1	0
	RETRAN 講習会	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教員	3	2	2
(1)-3 安全性・リスクに関する多角的視野からの教育	安全性に関する遠隔講義	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	9	6	12
		八戸工業大学大学院機械・生物化学工学専攻学生	0	0	3
(1)-4 関連講義におけるシミュレーターの活用	機械知能・航空研修Ⅰ	東北大学工学部機械知能・航空工学科2年生	0	1	1
	学外研修事前講義	東北大学工学部量子サイエンスコース3年生	0	0	37

	量子機械学	東北大学工学部量子サイエンスコース4年生	0	0	9
	核エネルギーシステム安全工学/リスク評価・管理学論	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	38	31
		東北大学大学院工学研究科大学院学生（量子エネルギー工学専攻以外）	0	57	27
	実験原子力システム工学	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	24	17
	先進原子力総合実習	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	0	9
(2)-1 専攻横断教育体制の構築	コンクリート工学	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	9	24
	耐震工学	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	0	0
(2)-2 土木工学実験の実施	コンクリート実験	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	6	7	5
	放射線遮蔽実験	東北大学大学院工学研究科土木工学専攻大学院学生	0	0	0
(2)-3 原子力・土木基盤理解のためのシミュレーターの活用	先進原子力総合実習	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	0	1
(3)-2 専攻内教員の教育と講習会の開催	セミナーへの派遣	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教員	4	4	0
	講習会の開催	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教員	6	4	4
		東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工	4	14	5

		学専攻大学院学生			
(3)-3 関連講義におけるシミュレーターの活用	原子炉安全・設計学	東北大学工学部量子サイエンスコース4年生	0	32	0
	量子機械学	東北大学工学部量子サイエンスコース4年生	0	0	9
	保全工学	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	6	7
	先進原子力総合実習	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻大学院学生	0	3	14
(4)-1 拠点間遠隔講義システムの導入	応用放射線工学特論	八戸工業大学大学院学生	0	3	1
(4)-3 英文教材の整備	バックエンド基礎実験における英語化テキストの使用	東北大学工学部量子サイエンスコース4年生	0	0	1
	機械知能・航空実験IIにおける英語化テキストの使用	東北大学工学部量子サイエンスコース3年生	0	0	45
参加人数(実績)			21名	138名	120名
(参考指標)			689	82	79
交付額/参加人数			千円/人	千円/人	千円/人

実施項目(1)-1, (3)-1, (4)-5は直接の育成対象を有する項目ではないため記載せず

実施項目(4)-2, (4)-4は審査委員会コメント及び外部評価委員会コメントを受けて中止したため記載せず

表2. 実施スケジュール(結果)

項目	25年度 (四半期毎)			26年度 (四半期毎)			27年度 (四半期毎)		
	(1)-1 シミュレーターの導入		□ シミュレーター導入						
(1)-2 専攻内教員の教育			← 自主研鑽 →						
				← RETRANモデル作成 →			← RETRANモデル作成 →		
		□ PCTRAN講習会		□ PCTRAN講習会	□ RETRAN講習会		□ PCTRAN講習会		
(1)-3 安全性・リ		□ 遠隔講義の実施		□ 遠隔講義の実施		□ 遠隔講義の実施			
← 内容再検討 →									

ったことが要因であると考えられる。次年度以降土木工学専攻における就職活動状況も考慮することで、原子力産業に進む土木工学出身者に対する効果的な原子力教育が可能となると考えられる。

(3) シミュレーション技術の根本的理解とそれを通じた高度な実現象分析能力の獲得

当初の計画通り、汎用有限要素法解析シミュレーターを導入し、専攻内教員が両プログラムに習熟するための取り組みの上、関連する複数の講義における実習もしくはデモンストレーション教材化を行うに至ることが出来た。いずれにおいてもレポートの内容からは受講者の理解の程度良好といえるものであった。量子機械学においてはほぼ同一の対象を従来の座学による支配方程式、上述の熱水力解析コードによる計算、そして有限要素法による詳細計算に対して行うことにより、有限要素法解析そのもの以上に対象の物理及び現象の解析方法に関する理解を促す課題となるように努めており、これは(4)-5における外部評価委員会で高い評価をいただいたものである。

(4) その他

本事業は東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻/工学部機械知能・航空工学科量子サイエンスコースにおける原子力教育をプラントの安全性から高度化するということを主たる目的としたものであった。3年計画で初年度はシミュレーターの導入と専攻内教員の教育、次年度は各講義/実習におけるシミュレーターの試行的利用、そして最終年度にて継続的な実施が可能な体制/環境を構築するという具体的な目標としていたが、上述の通り、これらは予定通り達成されたものと考えている。

<今後の事業計画・展開>

本事業は補助期間終了後の継続性、より具体的には補助期間が終了した後も本事業において構築した教育体制・環境の維持及び改善に大きな追加資源を必要としないということを第一に計画されたものである。以下、本事業における実施項目の平成28年度以降の実施計画をまとめる。

(1) シミュレーターを用いたプラントシステムとシビアアクシデント対応の理解

本事業において導入したシミュレーターは継続利用のために費用が必要というものではなく、また講義及び実習という目的のためには導入したシミュレーターに対する教員の理解も十分といえる状態となった。遠隔講義システムを通じた大規模構造物における安全性とリスクに関する遠隔講義は平成28年度以降も同様の形態で継続的に実施することを予定している。また各種講義及び実習におけるプラントシミュレーター及び熱水力解析コードの利用に関しても、今後再開されると想定される京都大学実験炉実習の実習内容も踏まえ、学生の理解向上のための実施課題内容の修正は継続的に行っていくものの、基本的には平成27年度と同様の形態で継続的に行っていく予定である。

(2) 原子力・土木共通分野の教育基盤整備と相互理解の促進

東北大学量子エネルギー工学専攻において原子力を専攻する学生に対する土木工学の基礎的な素養を身につけるための機会を提供するための座学、実習の実施体制が整備された。実習の実施は費用を要するものの運営交付金で十分賄うことが出来る範囲のものであり、実習の内容の軽微な修正・変更の可能性はあるものの、平成28年度以降も基本的には平成27年度と同様の形態で座学、実習共に継続させる予定である。一方、土木工学を専攻する学生に対する原子力教育に関しても環境整備は十分であると考えられ、今後

(3) シミュレーション技術の根本的理解とそれを通じた高度な実現象分析能力の獲得

本事業において導入したシミュレーターは継続利用のために費用が必要というものではなく、また講義及び実習という目的のためには導入したシミュレーターに対する教員の理解も十分といえる状態となった。学生の理解向上のための実施課題内容の修正は継続的に行っていくものの、各種講義における当該シミュレーターの利用は、基本的には平成27年度と同様の形態で継続させる予定である。

<整備した設備・機器>

(1) ビデオ会議システム 3式 (平成25、26年度整備、計約4.4百万円)

東北大学量子エネルギー工学専攻と八戸工業大学、長岡技術科学大学、東北大学土木工学専攻との遠隔講義を実現するためのシステム。実施項目(1)-3、(2)-1にて使用。

(2) 有限要素法解析ソフトウェア (平成25年度整備、約3.8百万円)

汎用の有限要素法解析ソフトウェアであるCOMSOL社製 Multiphysicsのクラスキットライセンス。実施項目(3)及び(2)-3における有限要素法解析を用いた講義及び実習の実施のために使用。

- (3) 原子カプラント安全解析コード（平成25年度整備、約4.2百万円）
PC上にて動作するプラントシミュレーターであるPCTRANのBWR5シビアアクシデントバージョン。
実施項目(1)におけるPCTRANを用いた実習及びそれに関連する各種検討にて使用。
- (4) 講義用ノート型PC33台（平成26、27年度、計約1.4百万円）
本事業にて導入したPCTRAN, RETRAN, Comsol Multiphysicsを講義及び実習にて用いるための可搬型計算機。実施項目(1)-2, (1)-3, (2)-3, (3)-3における各種シミュレーション実習にて使用。

〈その他特記すべき事項〉

特になし。

〈参考資料〉

(1) 添付資料

- 1) PCTRAN 使用マニュアル（実施項目（1）—1 関連）
- 2) RETRAN モデルドキュメント（実施項目（1）—2 関連）
- 3) バックエンド基礎実験テキスト英語版（実施項目（4）—3 関連）
- 4) 機械知能・航空実験 II テキスト英語版（実施項目（4）—3 関連）

(2) 事業成果の公開事例、関連する文献

- 1) 遊佐訓孝、「東北大学における国際原子力人材育成イニシアティブ事業」、日本原子力学会東北支部第4回支部大会、仙台、2014/04/23.
- 2) 遊佐訓孝、「東北大学における原子力人材育成の現状」、第7回東北原子力シンポジウム、六ヶ所村、2014/10/09.
- 3) 高橋信、遊佐訓孝、橋爪秀利、「原子炉の安全性の理解を目的としたPCシミュレータを用いた大学院教育の試み」、日本原子力学会2015春の年会、茨城大学、2015/03/20-22.

評価項目に係る事項について

①課題の達成度（採択時の審査評価委員会所見への対応を含む。）

本事業は東北大学量子エネルギー工学専攻/量子サイエンスコースにおける原子力教育の高度化を主たる目的としたものです。本事業の具体的な専攻内教育への反映である実施項目(1)-3, 4, (2)-2, 3, (3)-3, (4)-3は全て継続的な実施のために新規に大型の外部予算が必要となることはないものであり、平成28年度以降も基本的には平成27年度と同様の形態で実施する予定でございます。よって、設定した課題は達成されたものと考えております。

採択時通知時に併せていただきました改善要望意見及び改善要望意見に対する対応を以下にまとめさせていただきます（説明の都合上一部いただきましたご意見の順序を入れ替えております）。

◆解析コードは導入（買取）の要であるが、モデル、プログラムの内容を詳細かつ綿密に理解しないと、思わぬミスがあっても見過ごすことを肝に銘じて実施して欲しい。

◆シミュレーションによる分析能力の育成は重要であるが、同時に実物、実現象についての関心も育成されるよう望みます。

◆シミュレータを利用することで特徴づけようとする意図は理解するが、シミュレータでの限界についてもあわせて教育されることを望む。

→ご指摘ありがとうございます。特に構造解析のための有限要素法実習課題では不適切な条件設定による結果の変化などを確認させることも行っており、また実習/講義中は計算結果を鵜呑みにしないこと、そのためには物理に関する十分な理解が必要不可欠であるということを強調しております。今後各種シミュレーターを用いた実習課題は継続的に内容の見直しを行ってゆく予定でございますので、その際にもご指摘いただいた点には特に留意いたします。

◆育成人数の増加を検討願います。

→主たる目的が専攻教育カリキュラムの高度化のため、人数という意味では最大で40名程度/1学年となり、また特に初年度は教員の育成が主でございますので、確かに補助期間内のみの育成人数は見劣りしてしまうのは確かかと思えます。しかしながらその一方、専攻における原子力教育の高度化という観点で平成28年度以降の継続性と自立性を目指して本事業を進めることで、中長期的に着実に育成人数が増加してゆくものと考えております。

◆（5）－1. II項で、機械、電気、計装、制御も加えた人材育成を検討願います。

→ご指摘ありがとうございます。ただ、それらに関しましては平成20-23年度の原子力コア人材育成プログラム及び既存の実験/実習などである程度対応されている面もございますので、本事業においては内容が発散したものとならないよう、シミュレーターを用いた安全に関する教育に注力させていただきました。

◆後年度になって、海外派遣や英文教科書作成などが費用計上されているが、申請内容からみて唐突であり、認めがたい。また、シミュレーション室についても、最終年度に整備せざるをえない事情は理解できなくはないが、本事業推進に必要な不可欠なものとは認めが

たい。

◆本事業の目的・内容からすると、教育インフラ整備と継続的な教育を可能とするカリキュラム・教員育成に力を入れるべきであり、英文教材の整備や海外インターンシップ派遣は必要最低限で効率的に実施願いたい。

→海外派遣につきましては同様のコメントを外部評価委員会でも同様の意見を頂戴いたしましたため、取りやめとさせていただきます。

→英文教材の整備につきましては教育の英語化が強く求められていること、にもかかわらず英語に対する対応が現状の専攻内教育カリキュラムで十分な対応がされているとは言い難いため、外部評価委員会の方のご意見もあり、実施させていただきました。ただ、どの教材を英語化することが最も効果的かということは関係者で議論を重ねまして、最終的に専攻におけるすべての学生が必ず読まなければならない必修実習のテキストを英語化することといたしました。本年度のレポート内容を見る限り、特に意識の高い学生に対しては教育効果の高いものであったと考えております。

→シミュレーション室の設置及びシミュレーション室用据え付け型PCの購入はとりやめまして、当初目的の達成のため、より効果的（かつ柔軟性があり費用対効果の高い）可搬型PCの追加手配を行わせていただきました。

◆他機関との連携の拡がりが少ないかなとの印象あり。

◆地域の他大学の学生の教育にも当該施設等が広く活用されるよう配慮を期待します。

◆東北大、八戸工大、長岡技科大の3大学連携で閉じるのではなく、「大学連合ATOM」等との情報共有、連携を通じて、より多くの大学と連携を図るよう希望します。

→ありがとうございます。本事業において導入したソフトウェア及び教育インフラは東北大、八戸工大、長岡技科大に使用を限定する意図は無く、今後使用を希望される機関がございましたら柔軟に連携を進めていきたいと考えております。

◆解析ソフトウェアのためのセミナー派遣や講師招聘を毎年実施する必要はあるのか。

→平成26, 27年度は各年度具体的計画策定時における導入いたしました専攻内教員の理解状況に基づきまして、各ソフトウェアに対してセミナー派遣や講師招へい等の要不要および適切と思われる内容・回数を判断させていただきました。

◆オリジナルが英文であり教材を用いるのは理解できるが、日本語教材を敢えて英文化する方法論には疑問がある。

→本事業での教材は専攻内教育の国際化のためのものではございますが、一方、専攻内教育の国際化という観点からは当該教材はその一部でございます。例えば研究活動開始後は欧文論文を数多く読む必要があり、また場合によっては英文で論文を執筆することも求められております。さらに学部3年生時において機械知能・航空研修IIとして英語論文を半年かけて読み、その内容を発表するということが課されております。さらに英語化を進めることが重要ではございますが、その一方、専攻内教育カリキュラムが現状既に相当密であり、近くセメスター制からクォーター制への移行が行われる予定となっているため、新たに英文教材のみを用いた

講義又は実習を行うこと、もしくは現状の講義又は実習を英語化することは、履修者の内容の理解度及び事業継続性の低下にもつながる可能性があるものと危惧されました。そのため、本事業では必修である学生実験に関して日本語教材と全く同じ内容の英文教材を整備し、レポート課題の一部を英語で回答させる等により受講生が両教材を対比して読み深める機会を与えることで、これまでの専攻内教育の一部を削ることなく英語化を進めることを試みたものであります。

◆ソフトウェアについては、導入後のサポートが有償になるのが通常だが、申請書の（８）に言及がない。

◆やはり、補助事業終了後のソフトウェア維持が自力本願では不安。
→今回導入いたしましたソフトウェアの中で、現状依然としてバージョンアップが頻繁でありまた明確な有償サポートをおこなっているのは Comsol Multiphysics でした、その費用は平成 26, 27 年度予算にて計上させていただきました。PCTRAN, RETRAN に関しては今後頻繁なバージョンアップは考えづらく、また明瞭な有償サポート契約もなかったことから、具体的な疑問点がある場合には別途開催する講習会の場で講師に質問するなどに対応することといたしました。無論いずれのソフトウェアに対しましても研究にて用いるための深い部位の理解には至らない可能性がございますが、各ソフトウェアそのものではなく各ソフトウェアを一般的な概念に対する理解度を高めるために用いるという意味では、補助期間内でセミナー派遣、講師招へい等を特定の課題に注力して行うことで、相当程度対応がとれたものと考えております。

◆シミュレーターの利用について、教員の訓練から始めるとのことだが、京大や民間企業など経験のあるところから講師を招いて学生の訓練と並行して教員の訓練を行ったらどうか。

→本事業で導入いたしますシミュレーターに関してはいずれも使用経験/開発元より講師を招いての教員を対象とした講習会を行わせていただきました。確かに当該講習会を学生の訓練にも用いることはできるかと思いますが、一方、講習会の時間及び内容を考えますと通常の講義の中に入れ込むことは難しく、また内容がかなり専門的となるため、当該シミュレーターを自身の研究で用いるごく少数の学生以外には適さない内容とならざるを得ませんでした。そのため、多少回り道ではございましたが、まずは教員の訓練に注力させていただきました。

◆八戸工大、長岡技術科学大には、東工大を中心とした遠隔講義システムが出来ているので、それを活用することは出来ないのでしょうか。

→私共としても十分な理解が出来ているわけではないのですが、東工大のシステムはセキュリティが厳しく、利用手続きが煩雑と伺っております。そのため、補助期間終了後の継続性と将来の柔軟性のため、別途遠隔システムを導入とさせていただきます。

②特記すべき成果	特にごいません。
③事業の継続状況・定着状況	<p>本事業において実施した専攻内教育カリキュラムの高度化（より具体的には教育カリキュラムへの具体的な反映である実施項目(1)-3, 4, (2)-2, 3, (3)-3, (4)-3）は全て補助期間完了後も新規に外部予算を獲得せずとも継続的に実施することが可能なものであり、28年度以降も必要に応じた内容の見直しの上、継続する予定でございます。よって（追加外部予算獲得を前提としないという意味で）継続、定着状況は限りなく100%に近いと考えております。</p>
④成果の公開・共有の状況	<p>現時点まで</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 遊佐訓孝、「東北大学における国際原子力人材育成イニシアティブ事業」、日本原子力学会東北支部第4回支部大会、仙台、2014/04/23. 2) 遊佐訓孝、「東北大学における原子力人材育成の現状」、第7回東北原子力シンポジウム、六ヶ所村、2014/10/09. 3) 高橋信、遊佐訓孝、橋爪秀利、「原子炉の安全性の理解を目的としたPCシミュレータを用いた大学院教育の試み」、日本原子力学会2015春の年会、茨城大学、2015/03/20-22. <p>として本事業の計画及び途中経過を報告しておりますが、事業が計画通り完了したため、今後原子力学会会合等の機会に全体成果の報告を積極的に行ってゆく予定でございます。</p>
⑤参加した学生数、原子力関係機関への就職状況、公的資格取得者数	<p>本事業が対象とする教育カリキュラムの修了生である東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻修士課程学生の修了後就職先における原子力関連の企業もしくは研究所の割合は以下になります。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成19年度：33% ・平成20年度：43% ・平成21年度：50% ・平成22年度：80% ・平成23年度：56% ・平成24年度：49% ・平成25年度：59% ・平成26年度：53% ・平成27年度：58% <p>学部3年生から修士2年間までの4年間の専攻内教育全体に対するものですので、本事業の影響を短期的に評価するのは困難ではありますが、原子力人材育成事業が開始された平成19年度が33%、20年度は43%であり、また平成22年度はいわゆる原子力カルネッサンスであったことを踏まえ、福島第一原子力発電所事故による落ち込みから徐々に上向いてきているということが出来るかと思っております。</p>